

ATICA 2020

Aplicación de Tecnologías de la
Información y Comunicaciones
Avanzadas y Accesibilidad

OBRAS COLECTIVAS
TECNOLOGÍA 32

Luis Bengochea
Gerardo Contreras Vega
(Editores)

UAH

Estudio de comportamiento de cultivo de mostaza blanca (*Sinapis alba* L.). Un caso de aplicación con Big Data

Melisa Isaja¹, Paola Pizzingrilli^{2,6}, Pamela Britos³, Maximiliano Donadio², Giuliana Fois², Gustavo Agüero², Pablo Enrique Argañarás^{2,5}, Martín René Vilugrón^{2,5}, Lina María Montoya Suárez⁴, Paola Britos², Gastón Di Bonis¹

¹ Universidad Nacional de Río Negro. Río Negro. Argentina. melisa.isaja@gmail.com, gdibonis@unrn.edu.ar

² Universidad Nacional de Río Negro. Laboratorio de Informática Aplicada. Río Negro. Argentina. ppizzingrilli@unrn.edu.ar, maxdonadio21@gmail.com, gfois@unrn.edu.ar, gustavo54ar@gmail.com, pbritos@unrn.edu.ar, parganaras@unrn.edu.ar, mvilugron@unrn.edu.ar

³ Sede Regional Sur: Metán – Rosario de la Frontera, Universidad Nacional de Salta. Argentina. pamebritos@gmail.com

⁴ Universidad Católica Luis Amigó, Grupo de Investigación SISCO Medellín, Colombia lina.montoyasu@amigo.edu.co

⁵ Comisión Nacional de Energía Atómica, Centro Atómico Bariloche, banda@cab.cnea.gov.ar, martinvilu@cab.cnea.gov.ar

⁶ Universidad Nacional de Río Negro. Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales, Agroecología y Desarrollo Rural (IRNAD). Río Negro. Argentina. ppizzingrilli@unrn.edu.ar

Resumen. Este artículo [analiza](#) el comportamiento, a través de algoritmos de inducción del rendimiento, de los cultivos de mostaza Delfina y Local, en el paraje Las Golondrinas, Lago Puelo el cual integra la Comarca Andina del Paralelo 42°S, territorio bi-provincial de Río Negro y Chubut, Argentina. Este estudio permitió mostrar las características fenológicas y climáticas que presentan los mencionados cultivares en la zona y su alto impacto en el rendimiento. La respuesta de ambas especies, tanto Delfina como la variedad autóctona parece responder a características del fotoperiodo, debido a que la siembra otoñal muestra un rendimiento muy superior a la siembra realizada durante la estación primaveral.

Palabras clave: Mostaza, Big Data, Rendimiento, Ciencia de Datos, Cultivo, Agro.

1. Estado de la situación

1.1. Cultivo de Mostaza

La mostaza es un cultivo alternativo invernal que se encuentra difundido en zonas templadas del mundo; **siendo la mostaza blanca (*Sinapis alba* L.), una de las variedades más cultivadas con fines productivos a nivel mundial**. Es una especie nativa de Europa y del Sudoeste de Asia, el mayor productor y exportador es Canadá con más del 50% del mercado total, tanto de la mostaza blanca como de sus otras variedades [1][2]. En Argentina, la zona óptima de mayor producción se encuentra en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, seguida por la provincia de Santa Fe y Entre Ríos.

No obstante, a nivel nacional la demanda interna no es cubierta en su totalidad por lo que se sigue importando granos y posteriormente exportando la mostaza elaborada [1]. Ante esta situación, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) tuvo como objetivo ser más competitivos y aumentar la producción con un rinde superior a los 1000 kg.ha⁻¹ a partir de la creación de nuevos cultivares de mostaza blanca, con un rendimiento que alcanza 1200 kg.ha⁻¹[3][4].

La mostaza es una planta de día largo, de clima templado-húmedo, resistente a las bajas o altas temperaturas dependiendo en qué estadio del ciclo del ontogénico se encuentre. Su ciclo se divide en 3 etapas, una de ellas es la vegetativa en la cual se puede identificar la diferenciación y desarrollo de las hojas en estado de roseta, le sigue la reproductiva en la cual comienza la elongación del botón floral de la planta hasta floración y el crecimiento de las ramas florales, donde en sus flores se forma el fruto de la planta denominadas silicuas durante la fructificación y por último, la etapa de llenado de grano en donde se produce el llenado de las semillas que se encuentran dentro de la silicua [1][5][6].

Para comprender el comportamiento del ciclo del cultivo, también es necesario analizar los factores ambientales que regulan dichas etapas, como el fotoperíodo (longitud del día), la temperatura, heladas y la precipitación [6]. Por lo que, observar los cambios morfológicos y fisiológicos del ciclo y los factores ambientales que las regula, permite identificar el efecto que tienen sobre su crecimiento y desarrollo, viéndose como define o condiciona el rendimiento final expresado en Kg.ha⁻¹ [1].

Para evaluar su rendimiento, se analizan los siguientes 5 componentes de rendimiento las cuales serían: altura en floración plena, ramas florales por planta, silicuas por planta, semillas por silicuas y el peso de 1000 semillas. Por otro lado, también se debe tener en cuenta el momento de siembra, entre principios de mayo a principios de septiembre según las diferentes zonas de producción a nivel nacional [1][6]. El manejo de la fecha de siembra es un recurso que nos permite ajustar su ciclo, de manera tal que los puntos críticos que definen el rendimiento

final, ocurran en condiciones ambientales favorables debido a la influencia del fotoperiodo y temperatura sobre el crecimiento y desarrollo de la mostaza.

El conocimiento de la interacción entre las condiciones agroecológicas de la mostaza blanca, su ciclo ontogénico con los factores que lo regulan y el momento de siembra, nos permite analizar si determinan o condicionan su rendimiento final.

1.2. Big Data

Big Data es el término conocido para nombrar los datos masivos que tanto las personas como los sensores y distintos dispositivos vamos generando. Podemos describirlo como un gran volumen de datos que supera las capacidades de almacenamiento de hardware y la capacidad de procesamiento del software. Según un estudio realizado por EMC [7], en los últimos siete años generamos más información que en toda la historia de la humanidad, y la duplicamos cada dos años.

En 2008 Britos [8] propone como procesos de explotación de la información el “descubrimiento de reglas de comportamiento, descubrimiento de grupos, descubrimiento de atributos significativos (atributos importantes para el entorno de negocio que se aplica), descubrimiento de reglas de pertenencia a grupos y ponderación de reglas de comportamiento o de pertenencia a grupos”. Cada proceso tiene asociadas técnicas de minería de datos para descubrir patrones a través de su aplicación.

La ciencia de datos es una disciplina multidisciplinar ya que involucra la estadística, la matemática y la ingeniería de datos entre otros campos, para desarrollar procesos, técnicas y sistemas que extraigan conocimiento de grandes volúmenes de fuentes de información diversas y complejas.

Fois, Aguero y Britos [9] en “Evaluación comparativa de las metodologías Team Data Science Process TDSP y Analytics Solutions Unified Method for Data Mining ASUM-DM desde la perspectiva de la ciencia de datos” realizan una comparación de metodologías ágiles para aplicar en proyectos de ciencias de datos, del que se han tomado las actividades más inherentes para planificar cómo abordar el problema y organizar las actividades para abordar este caso de estudio.

Como trabajos previos, se puede citar [10], que analiza los tipos de rendimiento en Argentina y [11] en el que se propone una metodología de modelado estadístico para el cultivo de mostaza, en Pakistán utilizando técnicas de modelos de regresión.

2. Problema a resolver

Los datos para la realización de este trabajo se tomaron a partir de ensayos preliminares a campo realizado paraje Las Golondrinas, Lago Puelo el cual integra la Comarca Andina del Paralelo 42°S, territorio bi-provincial de Río Negro y Chubut, Argentina. Esta zona presenta las condiciones agroclimáticas óptimas para el desarrollo de dicho cultivo. En él se evaluó el rendimiento de dos cultivares de mostaza blanca (*Sinapis Alba* L.), la descripción fenológica y el tiempo térmico comparando diferentes siembras. Los cultivares que fueron evaluados son: INTA-Delfina (Res. 67/12 INASE) y Local que fue cedido por un productor de la zona., estos datos fueron tomados de [10].

El objetivo de este trabajo es obtener características que permitan determinar rangos de rendimiento de los diversos tipos de mostaza en la zona indicada, a través del proceso que determina comportamiento propuesto en [8].

3. Resultados obtenidos y discusión

Para el estudio se utilizaron los datos vertidos en [10] que consta de 479 registros, con los siguientes campos (ver tabla 1), 241 registros de cultivar tipo Delfina, y 238 registros de cultivar tipo Local; posteriormente se utilizó la técnica de árboles de inducción a través de la herramienta Rapidminer [12]. A continuación, se presentan las reglas obtenidas para cada tipo de Mostaza: Delfina (D) y Local (L), discriminado por diversos rangos de rendimiento expresado en Kg.ha-1, los rangos son: < 637,5, 637,5 – 1600, entre 1600 – 2412,5; entre 2412,5 – 3087,5 y mayor a 3087,5.

Tabla 1. Campos utilizados

Siembra	Hojas Roseta Sin Botón
Cultivar	Temp. Máx. Hojas Roseta Sin Botón
Estación F. Siembra	Temp. Mín. Hojas Roseta Sin Botón
Estación Germinación	Temp. Media Hojas Roseta Sin Botón
Estación Hojas Verdaderas	Altura Inicio Et. Repro Cm
Estación Raleo	Temp. Máx. Inicio Et. Repro
Estación Inicio De Roseta	Temp. Mín. Inicio Et. Repro
Estación Botón Floral	Temp. Media Inicio Et. Repro
Estación Elongación	Altura Plena Floración Cm

Elongación En Floración	Temp. Máx. Plena Floración
Estación Fruto Cuajado	Temp. Mín. Plena Floración
Estación Cosecha	Temp. Media Plena Floración
Días Entre F. Siembra Y Germinación	Rf En Floración Plena
Días Entre Germinación Y Hojas Verdaderas	Temp. Máx. Rf Plena Floración
Días Entre Hojas Verdadero Y Raleo	Temp. Mín. Rf Plena Floración
Días Entre Raleo Y Hoja Roseta	Temp. Media Rf Plena Floración
Días Entre Roseta Y Botón Floral	Altura Fructificación
Días Entre Botón Floral Y Elongación	Temp. Máx. Fructificación
Días Entre Elongación Y Elongación En Flor	Temp. Mín. Fructificación
Días Entre Elongación Elongación En Flor Y Fruto Cuajado	Temp. Media Fructificación
Días Entre Fruto Cuajado Y Cosecha	Rendimiento Kg.ha-1

Seguidamente a las reglas, los expertos en cultivo de mostaza: Melisa Isaja, Paola Pizzingrilli, Pamela Britos y Gaston Di Bonis, presentan conclusiones parciales.

3.1. Análisis para Mostaza Tipo Delfina

A continuación, se presentan las reglas obtenidas, y la discusión de las mismas:

a) **Rendimiento < 637,5**

Estación Botón Floral = Primavera
| Siembra = 2: <637,5

b) **Rendimiento entre 637,5 – 1600**

Estación Botón Floral = Primavera
| Siembra = 3:637,5 - 1600

c) **Rendimiento entre 1600 – 2412,5**

Estación Botón Floral = Invierno
| Altura Incio Et. Repro Cm \leq 31
| | Altura Plena Floración Cm \leq 94.5 :1600-2412,5

d) **Rendimiento entre 2412,5 – 3087,5**

No se registran resultados.

e) **Rendimiento \geq 3087,5**

Estación Botón floral = Invierno
| Altura Incio Et. Repro Cm $>$ 31: \geq 3087,5
| Altura Incio Et. Repro Cm \leq 31
| | Altura Plena Floración Cm $>$ 94.500: \geq 3087,5

Discusión: El cultivar Delfina mostró diferentes comportamientos en cada una de sus siembras y en cada uno de los rangos evaluados. Los rendimientos menores a 637,5 kg.ha-1 en la siembra 2, que fue cercana a la estación invernal, se debió a un retraso de 63 días en la germinación, como se referencia en [10] con el consecuente acortamiento de la etapa vegetativa, que condiciona su rendimiento en comparación al cultivar Local. Dicho retraso puede haber ocurrido por una menor adaptación de Delfina a las condiciones climáticas de la zona donde se ejecutó el ensayo. Sabiendo que la mostaza es una planta fisiológicamente de días largos se puede esperar que su rendimiento no sea el óptimo avanzando hacia mediados de primavera (caso de la siembra 3), ya que el crecimiento y desarrollo de la misma se acelera y provoca un acortamiento de su ciclo productivo, con la consecuente disminución de su potencial productivo. No obstante, se observa que los rangos de mayores rendimientos fueron obtenidos en la siembra 1, realizada al inicio de la estación otoñal [10], permitiendo una mayor amplitud de la etapa vegetativa y reproductiva con un incremento de biomasa que se traduce en un aumento de rendimiento del cultivar. Este comportamiento se ve reflejado en las reglas obtenidas, donde la altura al inicio de la etapa reproductiva y la altura en plena floración, son indicadores de su potencial productivo.

3.2. Análisis para Mostaza Tipo Local

A continuación, se presentan las reglas obtenidas, y la discusión de las mismas:

a) Rendimiento < 637.5

```

Estación F. Siembra = Primavera
|  Altura Fructificación > 92,5
|  |  Altura Incio Et. Rebro Cm > 6
|  |  |  Altura Plena Floración Cm ≤ 71
|  |  |  |  Altura Incio Et. Rebro Cm > 8,5
|  |  |  |  |  Rf En Floración Plena > 5,5
|  |  |  |  |  |  Rf En Floración Plena > 9,5: <637,5
|  |  |  |  |  |  |  Rf En Floración Plena ≤ 8,5: <637.5
|  |  |  |  |  |  |  |  Altura Incio Et. Rebro Cm ≤ 6: <637,5

```

b) Rendimiento entre 637.5 - 1600

```

Estación F. Siembra = Primavera
|  Altura Fructificación > 92,5
|  |  Altura Incio Et. Rebro Cm > 6
|  |  |  Altura Plena Floración Cm > 71: 637,5 - 1600
|  |  |  |  Altura Plena Floración Cm ≤ 71
|  |  |  |  |  Altura Incio Et. Rebro Cm > 8,5
|  |  |  |  |  |  Rf En Floración Plena > 5,5
|  |  |  |  |  |  |  Rf En Floración Plena ≤ 9,5
|  |  |  |  |  |  |  |  Rf En Floración Plena > 8,5: 637,5-1600
|  |  |  |  |  |  |  |  |  Rf En Floración Plena ≤ 5,5: 637,5-1600
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  Altura Incio Et. Rebro Cm ≤ 8.5: 637,5-1600

```

c) Rendimiento entre 1600 – 2412,5

```

Estación F. Siembra = Otoño
|  Altura Plena Floración Cm > 93: 1600 - 2412,5

```

	Altura Plena Floración Cm \leq 93
	Altura Plena Floración Cm \leq 89,5
	Altura Plena Floración Cm $>$ 88,5:1600- 2412,5
	Altura Plena Floración Cm \leq 88,5
	Rf En Floración Plena $>$ 1,5
	Altura Inicio Et.Repro Cm $>$ 37,5:1600-2412,5
	Rf En Floración Plena \leq 1,5
	Hojas Roseta Sin Botón $>$ 3,5:1600-2412,5

d) Rendimiento entre 2412.5 – 3087.5

No se registran resultados.

e) Rendimiento \geq 3087.5

Estación F. Siembra = Otoño

	Altura Plena Floración Cm \leq 93
	Altura Plena Floración Cm $>$ 89,5: \geq 3087,5
	Altura Plena Floración Cm \leq 89,5
	Altura Plena Floración Cm \leq 88,5
	Rf En Floración Plena $>$ 1,5
	Altura Inicio Et.Repro Cm \leq 37,5: \geq 3087,5

Discusión: Este cultivar presenta similar comportamiento que Delfina, denotando que los mejores rendimientos también se encuentran en las siembras otoñales y los menores rendimientos en la siembra 3 correspondiente a la estación primaveral [10]. En dicha siembra, se acorta el ciclo vegetativo condicionando el desarrollo de flores en la etapa reproductiva con una menor producción de semillas. Por el contrario, los mayores rendimientos fueron obtenidos en la siembra otoñal, porque le permitió a la planta cumplir con su ciclo fisiológico bajo las condiciones ambientales favorables. Esto es observable en las reglas, con mayores alturas en las etapas reproductivas de la especie, y mayor cantidad de ramas florales (Rf). Como se observa en los datos, cuando el rendimiento es mayor a 3087,5 kg corresponde a una altura de floración plena menor a 93 cm. También se observa que cuando la altura de floración plena se encuentra entre 88,5 y 93 cm disminuye el rendimiento, posiblemente debido a que se relaciona la altura con una menor tasa fotosintética por parte de la planta. El rendimiento obtenido durante los ensayos parece tener un comportamiento de acuerdo a la bibliografía, que indica que las plantas de día alargado muestran un rendimiento mayor independientemente de la variedad de mostaza.

4. Conclusión

En primer lugar, podemos observar que la herramienta con la que se aborda el problema permitió caracterizar los diversos rangos de rendimiento de cada cultivar de mostaza. Podemos decir que esta técnica permite establecer características de siembra, dada las mismas condiciones de origen.

Como futuras líneas de trabajo se prevé toma de temperaturas en rangos más pequeños y análisis de suelo. Además de la utilización de técnicas de regresión y redes bayesianas para la predicción de rendimiento.

Es importante tener en cuenta que el estudio no es comparativo sino de correlaciones. En el mismo se puede inferir relaciones entre altura de inicio de ciclo reproductivo, altura de floración y mayor rendimiento en las siembras otoñales de ambos cultivares, presentando las mejores cosechas durante las siembras de la primera fecha de otoño. Con respecto al rendimiento de la primera fecha de siembra de otoño, se observó un valor muy superior a la siembra primaveral y la segunda siembra de otoño, resultados que se asemejan a las cosechas encontradas en la provincia de Buenos Aires.

5. Referencias

1. Curioni, A, Alfonso, W y Arizio, O. (2010). Mostaza blanca (*Sinapis alba* L. syn. *Brassica hirta*). Agrotecnología, calidad y mercados. Universidad Nacional de Luján. pp. 2-22.
2. Arizio O. P. & Curioni A. O. (2016). Mostaza, un grano oleaginoso, aromático y medicinal. Análisis del mercado mundial y principales importadores regionales. Departamento de Tecnología. Universidad Nacional de Luján, Bs. As. *Horticultura Argentina* 35 (87), pp. 5-18.
3. Piola, M. (2012). Delfina INTA: La primera mostaza Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA. <http://inta.gob.ar/noticias/delfina-inta-la-primer-mostaza-argentina>. Último acceso octubre 2020.
4. Paunero I. (2015). Evaluación de material genético de mostaza (*Sinapis alba*). Curso de Postgrado: Complejo cultivos aromáticos y medicinales. Economía, mercados, agrotecnología y calidad. Universidad Nacional de Luján, Bs.As.
5. Cirera, L. y Jara, S. (2011). Determinación de Índices Bioclimáticos de mostaza blanca (*Sinapis alba* L.) VI Congreso Cubano de Meteorología. La Habana, Cuba.
6. García, M., Cañón, H., Alfonso, C., Cavallero, M. y Curioni, A. (2017). Efecto de la fecha de siembra sobre la fenología y el rendimiento en un cultivo de mostaza blanca (*Sinapis alba* L.) en Luján, provincia de Buenos Aires. *Horticultura Argentina* 36 (89): ISSN de la edición online 1851-9342, pp.17-27.
7. EMC – “The Digital Universe of Opportunities: Rich Data and the Increasing Value of the Internet of Things” – (2014). Publicado en: <https://www.emc.com/leadership/digital-universe/2014iview/executive-summary.htm>. Último acceso Octubre 2020.
8. Britos, P. (2008). Procesos de explotación de información basados en sistemas inteligentes. Tesis doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
9. Fois, G; Aguero, G.; Britos, P. (2020). Evaluación comparativa de las metodologías Team Data Science Process TDSP y Analytics Solutions Unified Method for Data Mining ASUM-DM desde la perspectiva de la ciencia de datos. En *Investigación Formativa en Ingeniería*. 4ta. Edición. ISBN 978-958-52333-5-5, DOI <http://doi.org/10.5824/zenodo4031253>. Medellín. Antioquia. Colombia.
10. Isaja M., Sobrero C. (2020). Evaluación preliminar del rendimiento de dos variedades de mostaza blanca (*Sinapis alba* L.): Comparación de fechas de siembra y fenología del cultivo para la Comarca Andina del Paralelo 42°. Tesina final de graduación. Universidad Nacional de Río Negro.
11. Saleem, A., Abbas, K., Asad, K., & Anjum, M. S. (2013). Best Statistical Model Estimation for Mustard Yield in Azad Kashmir, Pakistan. *Pakistan Journal of Science*, 65(1), 77–82.
12. Rapidminer (2020). Rapidminer. <https://rapidminer.com/>. Último acceso Octubre 2020.